

На правах рукописи

Иванова Анна Сергеевна

**ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ
НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД**

Специальность 25.00.30 – метеорология,
климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Казань – 2011

Работа выполнена на кафедре метеорологии и охраны атмосферы
в ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет»

Научный руководитель: кандидат географических наук, доцент
Латышева Инна Валентиновна

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Френкель Марат Ошерович
кандидат географических наук, доцент
Верещагин Михаил Алексеевич

Ведущая организация: Институт Географии СО РАН, г. Иркутск

Защита диссертации состоится 14 апреля 2011 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д.212.081.20 в ФГАОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, корп.2, ауд.1512.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И.Лобачевского ФГАОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Автореферат разослан « » марта 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент



Хабутдинов Ю.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Современный климат характеризуют высокие темпы изменения средних глобальных температур в значительной толще тропосферы и увеличение повторяемости опасных явлений погоды, которые наносят серьезный материальный ущерб обществу. Поэтому ресурсный подход к изучению климата и обеспечение гидрометеорологической безопасности – базовые условия в решении проблемы жизнеобеспечения в динамично устойчивом обществе.

По данным наблюдений Росгидромета территория России, где отмечается более 20 видов опасных гидрометеорологических явлений, существенно более чувствительна к глобальным изменениям климата. Опасное гидрометеорологическое явление (ОЯ) – это явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить значительный материальный ущерб. По оценкам специалистов в ближайшие годы на территории России ожидается рост таких экстремальных природных явлений, как сильные паводки, наводнения, ураганные ветры, смерчи, засухи, аномальные колебания температуры.

Имеющие место и прогнозируемые последствия изменений климата могут оказывать разнонаправленные воздействия на различные сферы деятельности человека. В условиях повышения зимних температур в большей части регионов России сократилась продолжительность отопительного периода. В то же время увеличились затраты электроэнергии на охлаждение помещений летом с помощью кондиционеров. Повышение интенсивности и частоты таких опасных явлений как обильные снегопады вызывает возрастание снеговых нагрузок на здания и сооружения, возможны обрывы линий электропередач. Увеличение повторяемости сильных ливней ухудшает состояние автомобильных и железных дорог.

Объект исследования – Иркутская область, в состав которой входит Усть-Ордынский Бурятский автономный округ, расположена в южной части Восточной Сибири, почти в центре Евразийского материка. Большая протяженность территории Иркутской области с севера на юг и ее удаленность от адвективного влияния океанических воздушных масс является одной из основных причин высокой степени континентальности климата.

В условиях резко континентального климата природные экосистемы на территории Иркутской области проявляют низкую устойчивость к жесткому техногенному воздействию и низкий потенциал к самоочищению и самовосстановлению, поэтому исследование динамики опасных явлений погоды и условий их возникновения здесь приобретает особое значение.

Цель исследования: изучить современные особенности в распределении опасных явлений погоды на территории Иркутской области и выявить прогностические признаки их возникновения.

В задачи исследования входило:

1. Формирование массива данных, выбор методологического подхода и программных средств обработки исходных данных.
2. Изучение климатического режима территории Иркутской области, включая анализ температурно-влажностных характеристик в тропосфере, расчет вертикальных градиентов температур в различных слоях атмосферы, изучение вертикальных движений на основе аналога вертикальной скорости и определение вертикальных сдвигов ветра в слое Земля-700 гПа.
3. Создание карт-схем распределения различных видов опасных явлений на территории Иркутской области в теплый (IV-IX) и холодный (X-III) периоды за 1999-2009 гг.
4. Типизация синоптических процессов возникновения опасных явлений погоды в Северном, Западном, Центральном и Южном районах Иркутской области за 2005-2009 гг.
5. Исследование циркуляционных особенностей аномально теплых и холодных зим, наблюдаемых на территории Иркутской области в последнее десятилетие.

Научная новизна результатов исследований заключается в том, что впервые для территории Иркутской области на современных данных:

- составлены климатические карты континентальности климата, средних годовых значений парциального давления и относительной влажности воздуха;
- исследована сезонная динамика вертикальных движений и сдвигов ветра в слое Земля-700 гПа, что актуально для пилотирования воздушных судов;
- составлены карты-схемы распределения многолетнего числа случаев опасных явлений и исследована внутригодовая динамика ОЯ за 1999-2009 гг., что актуально для различных отраслей народного хозяйства;
- впервые предложена типизация синоптических процессов возникновения опасных явлений погоды на основе совместного анализа приземных и высотных синоптических карт.

Использованные данные. В качестве исходных использованы данные наблюдений: 45 метеорологических станций Иркутской области (1963-2009 гг.) и 86 метеорологических станций Иркутской области (1999-2009 гг.); данные аэрологического зондирования на станциях Ангарск, Братск, Нижнеудинск и Киренск (2005-2009 гг.); данные Гидрометцентра России (<http://www.meteoinfo.ru/climate>); данные NCEP/NCAR Reanalysis (<http://www.cdc.noaa.gov>): температуры воздуха, атмосферного давления, приведенного к уровню моря, геопотенциальных высот стандартных изобарических поверхностей, аналога вертикальных токов в узлах регулярной географической сетки с равномерным шагом по широте и долготе 2,5 на 2,5° (1948-2008 гг.); ежедневные синоптические карты (приземные и высотные) за 00 и 12 всв (2005-2009 гг.), любезно предоставленные ИУГМС.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов обеспечивалась применением для анализа больших массивов первичной метеорологической информации, современных методов, применяемых в авиационной и синоптической метеорологии. Полученные научные выводы согласуются с результатами работ отечественных и зарубежных авторов.

Практическое использование результатов диссертационной работы состоит в следующем: новые знания об основных закономерностях в распределении опасных явлений погоды на территории Иркутской области в современный период позволяют использовать полученные результаты в практической работе в отделе краткосрочных прогнозов Иркутского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в целях увеличения заблаговременности и повышения оправдываемости прогнозов погоды.

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Современные изменения климата на территории Иркутской области в последнее десятилетие проявляются в повышении температуры воздуха, увеличении дефицитов влаги и усилении неустойчивости в средней и верхней тропосфере и определяют повышенную вероятность возникновения экстремальных погодных явлений (преимущественно в Верхне-Ленском, Западном и Южном районах).

2. Вероятность возникновения низкой облачности, ограниченной дальности видимости, сильного тумана, сильных снегопадов и гроз на территории Иркутской области существенно зависит от степени расчлененности рельефа и заметно возрастает при увеличении повторяемости меридиональных южных процессов.

3. В последнее десятилетие на территории Иркутской области существенно возросла повторяемость крупных положительных и отрицательных аномалий средней месячной температуры воздуха в зимний период, в формировании которых существенная роль принадлежит процессам блокирования.

4. Наиболее информативными предикторами опасных явлений погоды на территории Иркутской области являются интегральные параметры атмосферы и значения адвективных изменений температуры, влажности воздуха, высоты уровней конденсации и тропопаузы.

Личный вклад соискателя состоял в разработке методики исследований, статистической обработке аэросиноптического материала и типизации атмосферных процессов на разных уровнях тропосферы. Основные результаты являются оригинальными и получены либо лично автором, либо при непосредственном его участии.

Апробация

Основные результаты докладывались на конференциях различных уровней: БШФФ-2002, Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2002 г.; IX рабочая группа «Аэрозоли Сибири», 26-29 ноября 2002 г., Томск, 2002; X Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics, 24-28 June 2003 Tomsk, Russia, 2003 г.; XI Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics, 23-26 June 2004 Tomsk, Russia, 2004 г.; XIII Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics, 2-6 July 2006 Tomsk, Russia, 2006 г.; International workshop ISTC “Baikal-2006”, 15-19 August, 2006, Irkutsk, Russia, 2006 г.; Научно-теоретическая конференция молодых ученых. Иркутск: ИГУ, 2006 г.; Международный научный конгресс “Гео-Сибирь-2006”, Новосибирск: ГОУ ВПО «Сибирская гос. геодезическая академия», 2006г.; Научно-теоретическая конференция молодых ученых. Иркутск: ИГУ, 2007 г.; XIII научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока, 27-29 ноября, 2007, Иркутск, Россия, 2007 г., XV Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics, Krasnoyarsk, June 2008, 2008 г.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 38 печатных работ, из них 11 – статьи в журналах из списка ВАК: «Метеорология и гидрология», «Оптика атмосферы и океана», «Вестник ИрГТУ».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 172 страницы, включая 85 рисунков, 38 таблиц и 7 приложений. Библиографический список включает 212 источников.

Во введении раскрывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна, практическая значимость и личный вклад автора.

Первая глава посвящена анализу короткопериодных колебаний глобального и регионального климата, на фоне которых в последние годы наблюдается увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений (к концу XXI в. их вероятность оценивается как очень высокая).

В параграфе 1.1 показано, что в изменчивости современного климата определенную роль играет внутренняя динамика климатической системы Земли, из-за исключительной сложности которой проблема долгосрочного прогнозирования климата по-прежнему остается одной из ключевых проблем современности.

В параграфе 1.2 рассматриваются циркуляционные факторы изменения климата, благодаря которым происходит смена теплых или холодных, влажных или сухих воздушных масс. На решающую роль циркуляционных факторов в формировании крупных аномалий температур в различных районах земного

шара, в частности, указывает высокая степень корреляционной связи средних месячных температур воздуха в удаленных друг от друга районах ($r \geq \pm 0,7$).

В масштабах современного периода изменений климата чаще всего рассматривается роль длинных волн в средней тропосфере и центров действия атмосферы в межширотном обмене теплом и влагой, благодаря которому формируются крупные аномалии различных метеорологических величин. Важнейшими элементами крупномасштабной циркуляции атмосферы являются синоптические вихри, которые возникают вследствие гидродинамической неустойчивости непрерывно стратифицированного воздушного потока и определяют погодные условия, температурный режим и распределение атмосферных осадков над обширными районами земного шара.

В качестве одного из основных процессов, формирующих климат умеренных широт Северного полушария, рассмотрен воздухообмен между арктическими и средними широтами. Особый интерес при составлении прогнозов погоды и климата вызывает западный сектор Российской Арктики, который отличается значительной циклонической активностью (в среднем за месяц здесь проходит семь циклонов).

Показано, что для исследования региональных изменений климата широко используются типизации атмосферных процессов, в основу которых положены термодинамические характеристики и траектории смещения воздушных масс.

В параграфе 1.3 дается оценка последствиям изменения климата, которые могут сопровождаться увеличением повторяемости опасных явлений погоды. Одной из причин увеличения повторяемости ОЯ является повышение температуры нижней тропосферы и подстилающей поверхности, что приводит к существенному увеличению испарения и влагосодержания в приземном слое атмосферы (примерно на 7 % в средних широтах при повышении температуры на 1 °C) и в ряде районов сопровождается увеличением экстремальных величин атмосферных осадков.

Изменение климата влечет за собой увеличение неустойчивости атмосферы, в последние годы в различных регионах земного шара все чаще отмечаются продолжительные волны холода или тепла. Для последнего столетия характерен рост повторяемости экстремальных штормов в океане, атмосферных циклонов, сильных ветров. Заметные изменения происходят в состоянии криосферы. При сокращении криосферы уменьшается среднее альбедо Земли, что может способствовать дальнейшему потеплению. В ряде регионов снижается влажность почвы и возрастает повторяемость засух. Таким образом, изменение климата влечет за собой увеличение числа экстремальных явлений погоды.

Разнообразие опасных явлений привело к необходимости наряду с понятием «ОЯ» ввести понятия «неблагоприятное метеорологическое явление (НМЯ)» и «комплекс неблагоприятных метеорологических явлений». Эти два понятия не закреплены в нормативных документах, однако приемлемы в исследовательских целях и условно объединены как неблагоприятные условия погоды (НУП).

Для распознавания опасных явлений погоды широко используются спутниковые данные и методы радиолокации. Некоторые исследователи рассматривают роль глобальных климатических индексов и дальних связей в возникновении опасных явлений и изменении их частоты за последние годы.

Значительное количество работ посвящено исследованию влияния метеорологических факторов на деятельность авиации. Большой вклад в изучение этого вопроса внесли В.Н. Барахтин, В.Г. Глазунов, Э.А. Морозова, А.П. Пеньков и другие исследователи. Обнаружено, что потепление климата уменьшает повторяемость туманов радиационного охлаждения и может приводить к росту адвективных туманов.

Н.П. Шакиной, Е.Н. Скриптуновой, А.Р. Ивановой была выполнена серия работ по исследованию условий выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. Объективная оценка синоптических условий выпадения замерзающих осадков обнаруживает повышенную повторяемость последних в зонах больших градиентов приземной температуры, высокой бароклинности в нижней тропосфере и, в особенности, в зонах адвекции тепла.

В заключение первой главы был сформулирован вывод:

Изменение климата, наблюдаемое в современный период, влечет за собой увеличение числа экстремальных явлений погоды. Несмотря на достигнутые успехи в изучении опасных явлений погоды, существуют определенные сложности в описании механизма возникновения и прогнозировании ряда явлений конвективного характера (шквалы, грозы) и внутримассового происхождения (туманы), особенно в условиях редкой сети данных наблюдений и высокой степени расчлененности рельефа. В этой связи необходимо проводить региональные исследования условий возникновения опасных явлений погоды в целях повышения оправдываемости и заблаговременности их предсказания.

Во второй главе рассмотрены природные условия объекта исследования – территории Иркутской области, которая находится в пределах южной окраины Среднесибирского плоскогорья, окаймленного на юге горными системами Восточного Саяна и Прибайкалья. Большая протяженность территории области с севера на юг (1400 км) и с запада на восток (1500 км) определяет разнообразие природных условий, а значительная удаленность от океанов проявляется в высокой степени континентальности климата.

Одним из факторов формирования устойчивых аномалий климата на территории Иркутской области является циркуляция атмосферы, которая в течение года по данным наблюдений за 2004-2008 гг. примерно в равном соотношении (~ 40 %) определялась влиянием адвекции циклонального и антициклонального вихря у поверхности Земли и на высотах.

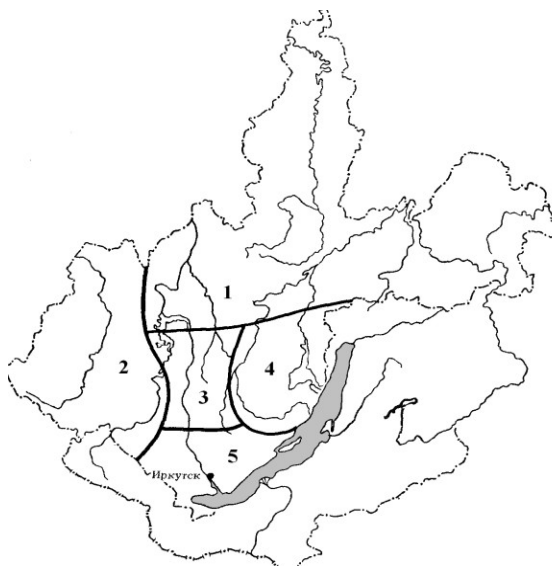
Наиболее резкие изменения погодных условий в регионе были вызваны прохождением подвижных глубоких циклонов и связанных с ними атмосферных фронтов, которые в большинстве случаев (~ 66 %) оказывались основными теплыми и холодными фронтами, разделяющими разнородные по температурным и влажностным свойствам воздушные массы (табл.1). Вдвое реже на синоптических картах определялись фронты окклюзии, которым в нижней тропосфере соответствует хорошо выраженный гребень тепла, и вторичные, преимущественно холодные фронты, наблюдаемые в холодной неустойчиво стратифицированной воздушной массе в тыловой части циклонов или на восточной периферии антициклонов.

Таблица 1

Среднее число случаев различных типов атмосферных фронтов на территории Иркутской области в 2004-2008 гг.

Период	Тип фронта			
	основной			вторичный
	теплый	фронт окклюзии	холодный	
холодный (X-III)	37	17	28	21
теплый (IV-IX)	27	15	44	17
сумма за год	64	32	72	38

С учетом физико-географических, климатических и специфических проявлений синоптических процессов на территории Иркутской области специалистами Иркутского УГМС принято выделять пять районов с характерными для них особенностями (рис.1). Для более достоверной оценки современных изменений климата в работе были дополнительно рассмотрены высокогорные районы и побережье оз. Байкал.



Районы: 1 – Северный, 2 – Западный, 3 – Центральный, 4 – Верхне-Ленский, 5 – Южный.

Рис.1. Синоптико-климатическое районирование территории Иркутской области

Учитывая неоднородность климатического режима территории Иркутской области, особый интерес представляет выделение районов, где наиболее выражено современное изменение климата. Для этой цели были использованы данные наблюдений 45 метеорологических станций Иркутской области (1963-2009 гг.), а также архив данных NCEP/NCAR Reanalysis (1948-2008 гг.).

Выявлено, что в последние годы (1999-2009 гг.) на территории региона в период с января по октябрь отчетливо прослеживается повышение средних месячных температур по отношению к периоду «климатической нормы» (1963-2009 гг.) с максимальным ростом в феврале ($\Delta t = \pm 2,6$ °C), которое сопровождается незначительным понижением относительной влажности воздуха и увеличением дефицитов влаги (рис.2).

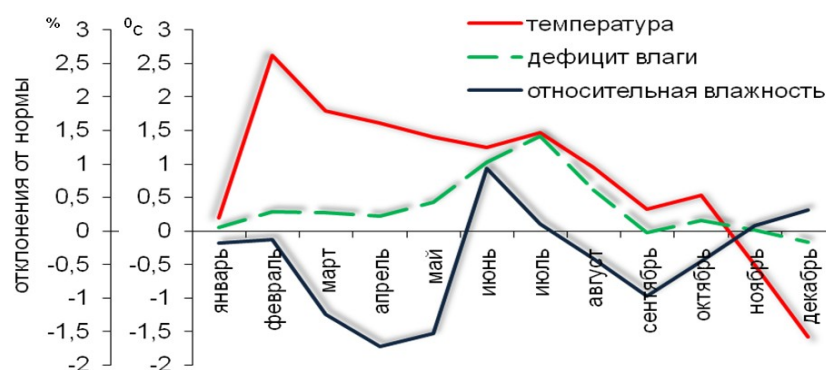


Рис.2. Средние многолетние отклонения основных метеорологических параметров за 1999-2009 гг. от периода «климатической нормы» (1963-2009 гг.), усредненные для территории Иркутской области

В пространственном отношении максимальные изменения температуры воздуха в последние годы происходят в Верхне-Ленском районе, дефицитов точки росы – в Западном районе, относительной влажности воздуха – в высокогорных и Южном районах Иркутской области. Наименее выражены изменения температурно-влажностного режима на побережье оз. Байкал.

Отличительной особенностью современного климата на исследуемой территории является повышение температур в нижней и средней тропосфере, их понижение в верхней тропосфере и нижней стратосфере на фоне усиления неустойчивости, которое проявляется в увеличении вертикальных градиентов температур (рис.3).

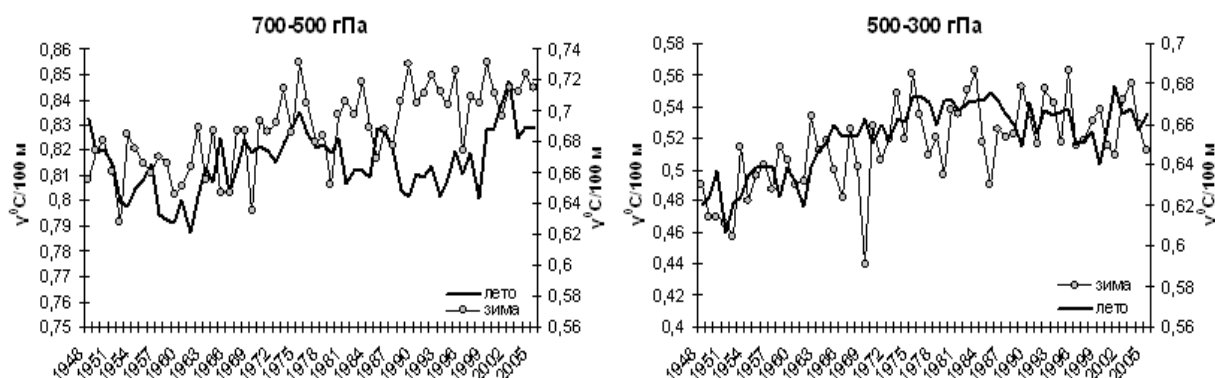


Рис.3. Многолетние изменения вертикальных градиентов температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) в различных слоях тропосферы на территории Иркутской области в календарные сезоны года за период 1948-2008 гг.

В заключение второй главы был сформулирован вывод:

Современные тенденции изменения климата на территории Иркутской области характеризуются повышением температуры воздуха в значительной толще тропосферы, незначительным увеличением дефицитов влаги и уменьшением относительной влажности воздуха. На фоне усиления адвекции антициклонального вихря (для которого характерно повышение во времени запасов кинетической энергии) и роста неустойчивости в средней и верхней тропосфере это может способствовать увеличению вероятности возникновения опасных явлений погоды (преимущественно в Верхне-Ленском, Западном и Южном районах Иркутской области).

В третьей главе рассматриваются критерии опасных явлений погоды и исследуются пространственно-временные закономерности в их распределении на территории объекта исследования – Иркутской области, где интенсификация хозяйственной и производственной деятельности требует тщательного учета климатических факторов и своевременного обеспечения объектов экономики, органов власти и населения сведениями об ожидаемых опасных гидрометеорологических явлениях (ОЯ).

Гидрометеорологические явления и величины (наблюдаемые или измеряемые) относятся к ОЯ при достижении ими соответствующих критических значений (критериев). Критерии ОЯ устанавливаются либо по вероятности возникновения явлений, либо «директивно» с учетом данных гидрометеорологических наблюдений за многолетний период. При этом критерии ОЯ принимаются едиными для всей территории страны или устанавливаются дифференцированно для различных физико-географических и природно-климатических районов.

На территории Иркутской области одним из наиболее неблагоприятных явлений погоды по воздействию на жизнедеятельность и производственные сферы является сильный ветер. В годовом распределении общего числа случаев с различными градациями сильного (≥ 15 м/с) и очень сильного ветра (≥ 20 м/с) отчетливо выделяется два максимума: весной (апрель-май) и осенью (октябрь-ноябрь) в условиях сезонной перестройки циркуляционных процессов по данным наблюдений 86 метеорологических станций Иркутской области за последние годы (1999-2009 гг.). Минимальное число случаев с сильным ветром отмечается в середине лета и середине зимы на фоне малоградиентных полей пониженного и повышенного давления в условиях господства летнего и зимнего континентальных центров действия атмосферы.

В распределении очень сильного ветра четко прослеживается влияние неоднородного рельефа, которое проявляется в максимальной повторяемости очень сильного ветра на станциях, расположенных в долинах крупных рек. Вторая полоса очень сильного ветра ориентирована в направлении Прибайкальского и Приморского хребтов, с максимумом числа случаев на побережье оз. Байкал.

С сильным ветром связаны такие опасные явления, как сильные метели, сильные пыльные бури и шквалы. Подавляющее большинство шквалов (94 %) отмечалось в июне, преимущественно в Северном районе Иркутской области.

Сильные метели (средняя скорость ветра ≥ 15 м/с, МДВ ≤ 500 м) наблюдались в Западном и Центральном районах Иркутской области в период с ноября по март при прохождении динамически значимых атмосферных фронтов в тыловой части глубоких циклонов при их сближении с Восточно-Саянским антициклоном.

Сильные пыльные бури (средняя скорость ветра ≥ 15 м/с, МДВ ≤ 500 м) в большинстве случаев были зафиксированы в мае, преимущественно в Южном районе Иркутской области (ст. Новонкутск, Кутулик, Иркутск, Хомутово).

К числу сезонных экстремальных условий погоды, влияющих на различные сферы деятельности и самочувствие человека, относятся экстремально высокие температуры – ОЯ «сильная жара» (максимальная температура воздуха ≥ 35 °С в

течение ≥ 5 суток) и экстремально низкие температуры – ОЯ «сильный мороз» (минимальная температура воздуха ниже «минус» 40°C в течение ≥ 5 суток; на оз. Байкал ниже «минус» 35°C в течение ≥ 5 суток; в Северном и Верхне-Ленском районах ниже «минус» 50°C в течение ≥ 3 суток; в Катангском районе ниже «минус» 55°C в течение ≥ 3 суток).

Причиной такого рода явлений является высокая степень континентальности климата Иркутской области, а также мощные вторжения холодного арктического воздуха в тыловой части высотных макроложбин в аномально холодные зимы и длительное стационарирование блокирующих антициклонов летом.

Наиболее низкие зимние температуры (ОЯ «сильный мороз») наблюдаются на станциях, расположенных на восточном побережье оз. Байкал (ст. Баргузинский заповедник), где происходит застой холодного воздуха, стекающего с Баргузинского хребта. Далее по числу случаев с сильным морозом следует выделить Верхне-Ленский район (ст. Карам) и Северный район (ст. Ербогачен). Наиболее высокие температуры (ОЯ «сильная жара») отмечаются летом на станциях, расположенных в зонах островной лесостепи, и в Северном районе, который в летние месяцы наиболее подвержен застою теплого воздуха под влиянием локального антициклогенеза.

Обильные дожди и снегопады, крупный град оказывают неблагоприятное воздействие на условия произрастания сельскохозяйственных культур, создают угрозу для движения транспорта, определяют условия для возникновения паводков, наводнений и схода селей. Основной причиной возникновения интенсивных осадков является сочетание восходящих движений и высокой влажности воздуха.

Очень сильный дождь (количество жидких осадков ≥ 50 мм (в селеопасных районах ≥ 30 мм) за период ≤ 12 ч.) и продолжительный дождь (количество осадков ≥ 100 мм за период ≥ 12 часов, но ≤ 48 часов и/или ≥ 120 мм за период ≥ 2 суток), а также крупный град (диаметр градин ≥ 20 мм) чаще всего отмечались в середине лета в высокогорных районах Восточного Саяна и предгорьях Хамар-Дабана, у подножия Прибайкальского и Баргузинского хребтов, где значительную роль в возникновении сильных и продолжительных осадков отводят эффекту вынужденного восхождения воздушных масс по наветренным склонам горных хребтов (рис.4). В этих же районах отмечались редкие случаи выпадения очень сильного снега (количество осадков ≥ 20 мм за период ≤ 12 ч.) – 13 случаев на ст. Хамар-Дабан и 1 случай на ст. Баргузинский заповедник (рис.4).

Опасное явление погоды – сильный ливень (количество жидких осадков ≥ 30 мм за период ≥ 1 ч.) отмечался преимущественно в Западном и Южном районах Иркутской области во вторую половину лета при выходе южных циклонов (рис.4). Наибольшее число случаев с очень сильным снегом (количество осадков ≥ 20 мм за период ≤ 12 ч.) наблюдалось в высокогорных районах в мае (когда на фоне положительных средних суточных температур арктические вторжения способствовали усилению неустойчивости и развитию конвекции) и в октябре (при развитии меридиональных процессов в тропосфере).

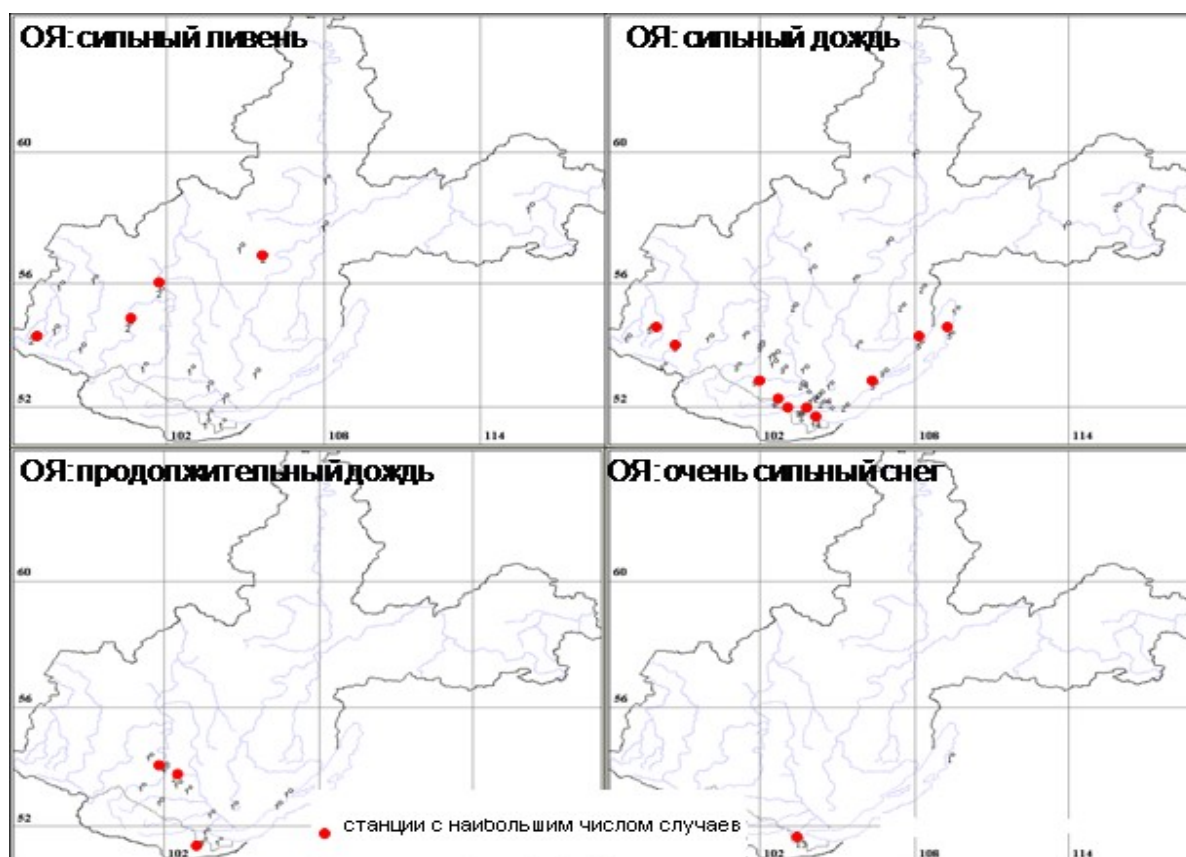


Рис.4. Карта-схема распределения общего числа случаев ОЯ: сильные и продолжительные осадки на территории Иркутской области в 1999-2009 гг.

Сильный туман (с видимостью ≤ 50 м) в теплое время года возникает в шесть раз чаще, чем в холодный период года. Прослеживается тенденция увеличения числа дней с сильным туманом в долинах крупных рек и на водохранилищах. В то же время сильные туманы практически не отмечаются в высокогорных районах, по северу области и на побережье оз. Байкал.

С учетом физико-географического районирования территории Иркутской области к наиболее грозоопасным можно отнести высокогорные станции в пределах Восточно-Саянского района, к наименее грозоопасным районам – Прибайкальский и Бодайбинско-Мамский, где существенный вклад в уменьшение числа гроз вносит локальный антициклонез.

В многолетнем режиме в период с конца 70-х по начало 90-х гг. XX века на территории Иркутской области выявлено увеличение числа дней с погодными экстремумами: высота нижней границы облачности ($\text{ВНГО} \leq 60$ м), ограниченная дальность видимости ($\text{МДВ} \leq 800$ м), и таких опасных явлений, как сильный туман, сильный снегопад и грозы (рис.5). В начале XXI века отмечается увеличение числа дней с сильным морозом и сильной жарой.



Рис.5. Многолетние изменения пятилетних сглаженных средних значений погодных экстремумов: высоты нижней границы облаков ($VHGO \leq 60$ м) и ограниченной дальности видимости ($МДВ \leq 800$ м), числа дней с ОЯ: сильный туман и сильный снегопад (на примере ст. Иркутск)

В заключение третьей главы сделан вывод:

На территории Иркутской области отмечено увеличение числа опасных явлений погоды в 80-90-е гг. XX века, которое по типизации Б.Л. Дзердзеевского (<http://www.atmospheric-circulation.ru>) приходится на повышенную повторяемость меридиональных южных процессов. Экстремальные изменения температур на территории Иркутской области наиболее выражены в последнее десятилетие при смене типов циркуляции: меридиональной южной на меридиональную северную.

Четвертая глава посвящена исследованию циркуляционных условий аномально теплых и холодных зим на территории Иркутской области. В параграфе 4.1 показано, что турбулентная природа атмосферной циркуляции, разнообразие ее форм приводят к тому, что многие метеорологические аномалии случайны по своей природе. Однако очень крупные аномалии, значительные по протяженности, продолжительности существования и отклонению метеорологической величины от многолетней нормы, могут быть следствием как поступления в климатическую систему определенных сигналов, так и повышенной интенсивности и устойчивости определенных форм атмосферной циркуляции во времени и в пространстве. Причастность крупномасштабных атмосферных процессов к аномалиям климата на территории России показана в работах Б.И. Сазонова, 1991, В.И. Бышева, 2003, Н.К. Кононовой, 2009 и др.

Так как успешность прогнозирования аномально теплых и суровых зим, несмотря на многочисленные исследования, остается достаточно низкой, исследование региональных особенностей формирования длительных периодов аномально низких и высоких зимних температур может привести к пониманию физических механизмов и повысить успешность прогнозов. В этой связи в работе рассматриваются циркуляционные условия аномально теплых и холодных зим на территории Иркутской области (на примере аномально холодной зимы 2005-2006 гг. ($|\Delta t| \geq 4 - 5^{\circ}\text{C}$) и аномально теплой зимы 2006-2007 гг. ($|\Delta t| \geq 10^{\circ}\text{C}$)), а также продолжительной волны холода в феврале

2009 г. по материалам ежедневных синоптических карт, данным Гидрометцентра России (<http://www.meteoinfo.ru/climate>) и данным NCEP/NCAR Reanalysis.

Как показало исследование, в аномально холодную зиму 2005-2006 гг. крупномасштабная адвекция холода в центральную часть Азиатского максимума способствовала повышению атмосферного давления в его центре на 13-17 гПа и развитию барических гребней на запад и северо-восток (рис.6). Барические гребни являлись блокирующими для смещения циклонов и выноса теплых воздушных масс вглубь материка. В эпицентре холодного вихря отрицательные аномалии средней месячной температуры воздуха достигали 16 °С, а на юге Иркутской области они составляли порядка 4-5 °С.

В аномально теплую зиму 2006-2007 гг. при активизации Исландской депрессии длительное время осуществлялась адвекция циклонального вихря, которая определяла продолжительность существования глубоких циклонов. Ложбина одного из циклонов с центром над Землей Франца-Иосифа была направлена на западные и южные районы Иркутской области (рис.6). Крупномасштабная адвекция теплого воздуха в переднюю и центральную часть Азиатского антициклона способствовала понижению атмосферного давления в его центре на 10-13 гПа и формированию положительных аномалий средней месячной температуры воздуха, которые на территории Иркутской области превышали 10 °С.

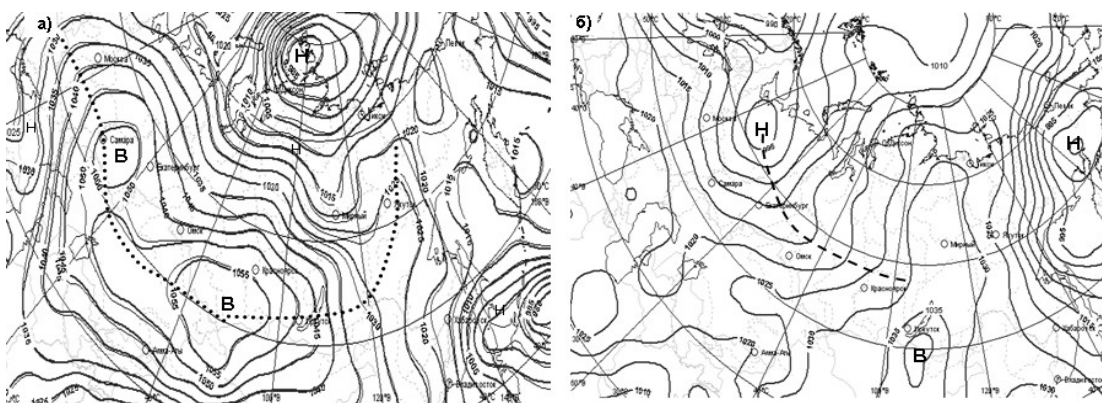


Рис.6. Приземное барическое поле в аномально холодную зиму 2005-2006 гг. (а) и аномально теплую зиму 2006-2007 гг. (б) над Иркутской областью

Количественным показателем, неплохо отражающим развитие как зонального, так и меридионального переноса над материком, является Арктическая осцилляция (АО) – годовая мода Северного полушария, которая характеризуется квазибаротропной структурой в изменении давления над полюсом и умеренными широтами. В аномально теплую зиму 2006-2007 гг. преобладали положительные значения индекса АО, определяющие усиление на 30-50 % зонального переноса, а в аномально холодную зиму 2005-2006 гг. – отрицательные значения индекса АО, указывающие на усиление на 20 % меридионального воздухообмена вследствие вторжения арктических воздушных масс.

Следует отметить, что формирование отрицательных температурных аномалий в аномально холодную зиму 2005-2006 гг. сопровождалось интенсивным стратосферным потеплением, ослаблением на АТ-50 гПа стратосферного околополярного циклонического вихря на 64 дам и усилением на 16 дам северотихоокеанского максимума. В аномально теплую зиму 2006-2007 гг. над Сибирью циркумполярный стратосферный вихрь был глубоким и смещался от полюса в российский сектор Арктики. Развивающийся восточный перенос стратосферных вихрей в аномально холодную зиму сопровождался развитием меридиональных процессов в стратосфере и тропосфере, которые способствовали формированию отрицательной аномалии средней месячной температуры воздуха над большей частью Сибири.

Планетарная высотная фронтальная зона, определяющая зону повышенных градиентов давления и температуры, в аномально холодную зиму 2005-2006 гг. была расположена южнее, а при развитии высотного гребня в аномально теплую зиму 2006-2007 гг. ее положение было более северным по сравнению с климатической нормой.

Исследование вертикальных профилей метеорологических величин показало, что в аномально теплую зиму 2006-2007 гг. мощность приземных инверсий температур в районе Иркутска в среднем была на 50-60 м меньше, а интенсивность на 2-3 °С меньше, чем в аномально холодную зиму 2005-2006 гг. (табл.2).

Таблица 2

Средние значения характеристик приземных инверсий температуры в Иркутске
в аномально холодную и теплую зимы

Характеристики	аномально холодный январь 2006 г.		аномально теплый январь 2007 г.	
	ночь	день	ночь	день
средняя мощность инверсий, м	731	681	665	637
максимальная мощность инверсий, м	1900	1400	1550	1180
средняя интенсивность инверсий, °С	11	7	9	5
максимальная интенсивность инверсий, °С	25	17	21	14

Кроме того, в аномально теплую зиму суммы накопленных за месяц отрицательных температур в слое Земля-500 гПа (5 км) были в среднем на 1000 °С меньше, а дефициты влаги на 75 °С меньше, чем в аномально холодную зиму. Соответственно, уровень тропопаузы в аномально теплую зиму был в среднем на 420 м выше, а уровень конденсации в среднем на 130 м ниже по сравнению со средними климатическими значениями.

Все вышеуказанные факторы в условиях преобладающей адвекции теплого воздуха определяли более благоприятные условия для осадкообразования в аномально теплую зиму. Местами суммы осадков в Иркутской области в 2-3 раза превышали месячную норму.

Формирование продолжительной волны холода на территории Иркутской области в феврале 2009 г. наблюдалось на фоне стратосферного потепления вблизи полюса, которое способствовало значительной деформации высотного и приземного барических полей со смещением Карского центра циркумполярного вихря на юго-восточные районы Сибири (рис.7) и развитием гребня полярного антициклона на южные районы Прибайкалья. Вторжение холодного воздуха

сопровождалось усилением нисходящих токов, формированием инверсий температур, интенсивность которых в Иркутске в слое Земля-850 гПа достигала 18 °С, и ослаблением вертикального воздухообмена в значительной толще тропосферы, на что указывало уменьшение в среднем в 5-6 раз вертикальных сдвигов ветра и ослабление в среднем на 50 км/ч максимальной скорости ветра вблизи тропопаузы.

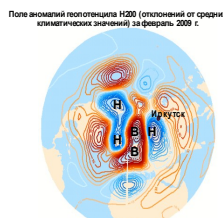


Рис.7. Поле аномалий геопотенциала H_{200}
(отклонений от средних климатических значений, дкм) за февраль 2009 г.

В заключение четвертой главы сделаны выводы:

Формирование крупных аномалий средней месячной температуры воздуха в зимние месяцы в Иркутской области связано с развитием длинных волн в тропосфере и стратосфере, и смещением высотной планетарной зоны к северу в аномально теплые зимы и к югу – в аномально холодные зимы.

Для формирования продолжительных волн холода на территории Иркутской области существенное значение имеет изменение циркуляции в полярных широтах. Подготовительный процесс, приводящий к формированию продолжительных волн холода на территории Иркутской области зимой – увеличение меридиональности барического поля над Атлантикой, которое приводит к возмущению стратосферной циркуляции в высоких широтах, проявляется в аномальном смещении к полюсу стратосферного антициклона и в смещении на центральные районы Сибири стратосферного циклона.

В пятой главе рассмотрены метеорологические и синоптические условия образования явлений, представляющих опасность для различных сфер деятельности человека, включая авиационный транспорт – один из наиболее зависимых от погодных условий видов транспорта: сильный ветер (≥ 15 м/с с учетом порывов), туман, гроза, ухудшение видимости в осадках, дыме или дымке и понижение нижней границы облачности ниже минимумов аэродромов.

В качестве объекта исследования выбраны станции: Киренск (Северный район), Иркутск (Южный район), Братск (Центральный район) и Нижнеудинск (Западный район), расположенные в различных районах Иркутской области. Исходной информацией послужили данные метеорологических и аэрологических наблюдений на станциях за 2005-2009 гг.

Среди исследуемых опасных погодных явлений на территории Иркутской области наиболее часто отмечались туманы с максимумом повторяемости на ст. Иркутск (Южный район) (54 %) и минимумом повторяемости на ст. Нижнеудинск (Западный район) (13 %). Сравнительно редко отмечалось понижение нижней границы облаков и ухудшение видимости в дыме и дымке

до минимумов аэродромов, особенно на ст. Иркутск (Южный район) и ст. Братск (Центральный район) ($\leq 5\%$).

Отмечается увеличение общего количества рассмотренных случаев с опасными явлениями погоды в летние месяцы (максимум в июле-августе) и уменьшение весной (минимум в марте и в мае).

Полагая, что атмосфера – подвижная среда, где осуществляется тесное взаимодействие коротких и длинных волн, и их вклад в возникновение опасных явлений погоды не всегда равнозначный, в данной работе проведена типизация синоптических процессов, учитывающая специфику атмосферных процессов, как у поверхности Земли, так и на высотах. Типизация синоптических процессов выполнена по ежедневным синоптическим картам (приземным и высотным) с привлечением данных NCEP/NCAR Reanalysis за 2005-2009 гг.

В исследуемый период (2005-2009 гг.) опасные явления погоды на территории Иркутской области отмечались при большом разнообразии типов синоптических процессов. В то же время выявлено, что наибольшее количество опасных явлений погоды (за исключением туманов и дымки) образуется при смещении на территорию Иркутской области высотных фронтальных зон (ВФЗ), которые характеризуются большими запасами доступной потенциальной энергии, реализуемой в процессах облако- и осадкообразования, усиления ветра в момент прохождения у поверхности Земли зон конвергенции разнородных воздушных масс (барических ложбин, центров циклонов), зон неустойчивости (восточных периферий антициклонов и гребней), летом размытых барических полей пониженного давления.

Так, наиболее благоприятные условия для образования гроз чаще всего наблюдались в дельте ВФЗ, в передней части или на южной периферии высотных макроложбин, где создаются условия для фронтогенеза и развития конвекции, наиболее выраженной при наличии размытых барических полей (РБП) у поверхности Земли (табл.3).

Таблица 3

Повторяемость (%) типов синоптических процессов при образовании гроз на территории Иркутской области в 2005-2009 гг. (в числителе – высотное поле H_{700} , в знаменателе – приземное барическое поле)

месяцы	Типы																			
	Передн часть гребня/Ось ложбины	РБП/Тып ложбины	ВФЗ/Передн часть ложбины	ВФЗ/Тып ложбины	Тып гребня/Передн часть ложб	Тып гребня/Ось ложбины	Передн часть ложб/Тып ложбины	РБП/РБП	Дельта ВФЗ/РБП	ВФЗ/Ось ложбины	ВФЗ/Тып ложбины	Ось ложбины/Ось ложбины	Передн часть ложбины/Ось ложб	Передн часть гребня/Тып ложбины	Тып ложбины/Вост периф гребня	Передн часть гребня/РБП	Передн часть ложб/Вост периф гр	Передн часть гребня/Передн часть	Южн периферия ложбины/РБП	РБП/Передн часть ложбины
Западный район																				
IV-IX	5	5	8	2	2	2	5	12	8			8				6		2	2	
Северный район																				
IV-IX							13					23				6		17		35
Центральный район																				
IV-IX		6	3			6	10		3	3		3	3		23	10			3	3
Южный район																				
IV-IX	4	4				9	13	4		4	4	4	4	9	4	4		4		4

При образовании туманов и дымки на территории области, как в теплый, так и в холодный период года чаще всего отмечалось прохождение оси или передней части высотного гребня, а у поверхности Земли размытых барических полей повышенного давления либо центров антициклонов.

В работе проводилось сравнение средних значений метеорологических величин в дни, когда опасные явления наблюдались и отсутствовали на метеорологических станциях. В указанные дни рассматривались все случаи наблюдаемых опасных явлений с учетом специфики наблюдений в светлое и темное время суток. Наряду с количественными характеристиками основных метеорологических величин дополнительно рассчитывались: вертикальные градиенты температур ($^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) и суммарные дефициты влаги ($^{\circ}\text{C}$) в нижней (Земля-850 гПа) и средней (850-500 гПа) тропосфере, междусуточные (адвективные) изменения ($^{\circ}\text{C}/24\text{ часа}$) сумм температур и дефицитов точки росы в разных слоях тропосферы, средние значения высоты (м) уровней конденсации, конвекции и тропопаузы и их междусуточные (адвективные) изменения (м/24 часа), значения псевдопотенциальной температуры ($^{\circ}\text{K}$), как более инерционного и чувствительного параметра атмосферы, лапласиан давления (гПа), аналоги вертикальных токов на разных уровнях тропосферы (гПа/12 час.), мощность (м) и интенсивность ($^{\circ}\text{C}$) приземных и приподнятых инверсий температур.

Обнаружено, что наиболее информативными характеристиками опасных явлений погоды по сравнению со средними значениями метеорологических величин являются интегральные параметры и значения адвективных изменений температуры, влажности воздуха, высоты уровней конденсации и тропопаузы.

Ухудшению видимости в осадках в различных районах Иркутской области предшествует междусуточное понижение высоты уровня конденсации и высоты уровня тропопаузы (табл.4), у поверхности Земли адвекция теплой и влажной воздушной массы, в вышележащих слоях тропосферы адвекция более холодной и влажной либо холодной и нейтральной по влажностным свойствам воздушной массы.

Таблица 4

Средние значения адвективных изменений высоты уровней конденсации и тропопаузы (м/сутки) в дни с ухудшением видимости в осадках и без ухудшения видимости в различных районах Иркутской области в 2005-2009 гг.

Уровень	Явление погоды	Район			
		Западный	Северный	Центральный	Южный
Холодный период (X-III)					
ΔHконд.	Ухудшение видимости	-274	-143	-311	-650
	Без ухудшения вид-ти	74	56	45	36
ΔHтроп.	Ухудшение видимости	-126	-14	-534	-719
	Без ухудшения вид-ти	34	7	101	34
Теплый период (IV-IX)					
ΔHконд.	Ухудшение видимости	-639	-782	-734	-916
	Без ухудшения вид-ти	37	7	17	6
ΔHтроп.	Ухудшение видимости	319	-262	-262	-19
	Без ухудшения вид-ти	21	8	43	-17

К образованию туманов на территории Иркутской области приводит междусуточная адвекция холодной и влажной воздушной массы у поверхности Земли, теплой и сухой воздушной массы на уровнях 850 гПа (1,5 км) и 500 гПа (5 км), что определяет устойчивую стратификацию в нижней тропосфере, которая проявляется в пониженных значениях вертикальных градиентов температур в слое Земля-850 гПа (табл.5).

Таблица 5

Средние значения вертикальных градиентов температур ($^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) в слоях Земля-850 гПа, 850-500 гПа в дни с туманом и дни без тумана в различных районах Иркутской области в 2005-2009 гг.

Уровень	Явление погоды	Район			
		Западны й	Северный	Центральный	Южный
Холодный период (X-III)					
Земля-850 гПа	Туман	-0,6	-0,8	-0,4	-0,4
	Без тумана	-0,2	-0,2	0,0	-0,2
850-500 гПа	Туман	0,6	0,5	0,5	0,6
	Без тумана	0,6	0,6	0,6	0,6
Теплый период (IV-IX)					
Земля-850 гПа	Туман	0,0	0,0	0,1	-0,1
	Без тумана	0,2	0,3	0,3	0,1
850-500 гПа	Туман	0,7	0,7	0,7	0,7
	Без тумана	0,7	0,7	0,7	0,7

В заключение были рассмотрены районы расположения центров приземных барических систем и стадии их развития при образовании опасных явлений погоды на территории Иркутской области в 2005-2009 гг.

Было получено, что в образование туманов, дымки и низкой облачности на территории Иркутской области более весомый вклад вносят антициклоны (рис.8), тогда как на образование гроз, усиление ветра до штормового и ухудшение видимости в осадках существенное влияние оказывают как циклоны, так и антициклоны.

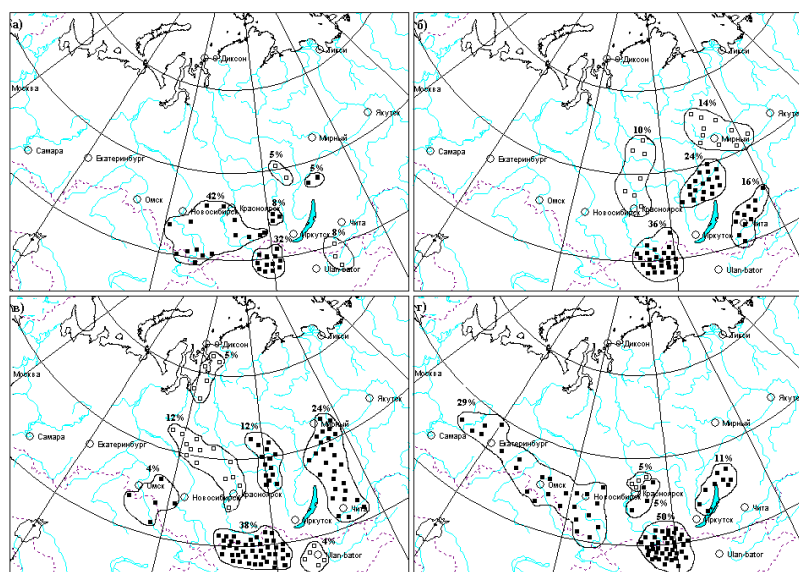


Рис.8. Районы расположения центров приземных циклонов (белые точки) и приземных антициклонов (черные точки) при образовании туманов в Западном (а), Северном (б), Центральном (в) и Южном (г) районах Иркутской области в 2005-2009 гг.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. На территории Иркутской области, природные ресурсы которой проявляют низкую способность к самовосстановлению на фоне резко континентального климата, возникновение опасных явлений погоды чаще всего связано с влиянием орографии и прохождением динамически значимых атмосферных фронтов.
2. На территории Иркутской области хорошо выражена сезонная динамика вертикальных движений, которая характеризуется развитием восходящих токов на фоне максимальных сдвигов ветра в переходные сезоны года и сопровождается увеличением повторяемости сильного ветра и ухудшения видимости в осадках (особенно в Западном и Южном районах Иркутской области, а также на станциях, расположенных в долинах крупных рек и на побережье оз. Байкал).
3. Установлено, что повторяемость сильных пыльных бурь и очень сильного снега максимальна в мае в Южном районе Иркутской области, сильного ливня в Западном и Южном районах, а сильных и продолжительных дождей – в высокогорных районах.
4. В последние годы на территории Иркутской области случаи с сильным морозом отмечались в три раза чаще, чем случаи с сильной жарой. Наиболее высокая повторяемость проявления аномально жарких и холодных периодов, в формировании которых существенная роль принадлежит стационарным волнам в тропосфере и стратосфере, наблюдается в Северном районе Иркутской области.
5. Возникновение продолжительных волн холода связано со смещением в южные районы Иркутской области глубоких полярных стратосферных и тропосферных циклонов, которые образуются над Карским морем и полуостровом Таймыр, а продолжительных волн тепла – с крупномасштабной адвекцией южных умеренных воздушных масс по западной периферии высотного гребня, развивающегося над Сибирью.
6. На территории Иркутской области условия пилотирования воздушных судов в современный период чаще всего осложняет ухудшение видимости в тумане и атмосферных осадках. На фоне регионального повышения температур отмечено увеличение вероятности сильного тумана, сильной метели и сильной пыльной бури.
7. При прогнозировании опасных явлений погоды на территории Иркутской области необходимо учитывать, что они наиболее вероятны при меридиональных южных типах атмосферных процессов.

Основные публикации по теме диссертации:

1. **Иванова А.С.** Долговременные изменения характеристик «быстрых» и «медленных» атмосферных процессов в северном и южном полушариях / В.И. Мордвинов, И.В. Латышева, А.А. Караханян, А.С. Иванова // География и природные ресурсы. – 2003. – № 3. – С. 156–160.
2. **Иванова А.С.** Долговременные изменения общей циркуляции атмосферы северного полушария в зимний период / В.И. Мордвинов, И.В. Латышева, А.А. Караханян, А.С. Иванова // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – 16. – № 1. – С. 68–73.
3. **Иванова А.С.** Влияние метеорологических условий на процессы распространения и трансформации аэрозольных и газовых компонентов в регионе озера Байкал / И.В. Латышева, А.С. Иванова, В.Л. Макухин, В.И. Мордвинов // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – 17. – № 4. – С. 322–324.
4. **Иванова А.С.** Циркуляционные особенности интенсивных дождей на дальневосточном побережье Евразии / И.В. Латышева, В.И. Мордвинов, А.С. Иванова, Т.Г. Щеголева // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – 17. – № 4. – С. 325–330.
5. **Иванова А.С.** Особенности зимней циркуляции в районе Азиатского антициклона / И.В. Латышева, В.И. Мордвинов, А.С. Иванова // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – 17. – № 5–6. – С. 448–452.
6. **Иванова А.С.** Численное моделирование реакции приземного термобарического поля на аномалии температуры поверхности океана / И.В. Латышева, А.С. Иванова, С.И. Молодых, В.И. Мордвинов, А.А. Фоменко // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – 17. – № 7. – С. 569–572.
7. **Иванова А.С.** Связь межгодовых вариаций приземного давления в Азии с явлением Эль-Ниньо и изменениями циркуляции в Южном полушарии / В.И. Мордвинов, Е.В. Девятова, А.С. Иванова, И.В. Латышева // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – 18. – №8. – С. 688–693.
8. **Иванова А.С.** Межгодовые вариации загрязнения атмосферы на юге Восточной Сибири / И.В. Латышева, С.С. Тимофеева, А.С. Иванова, В.Л. Потемкин // Вестник ИрГТУ. – 2007. – № 2 (30). – С.36–39.
9. **Иванова А.С.** Исследование термико-влажностного режима как индикатора климатических изменений на территории Восточной Сибири / С.С. Тимофеева И.В. Латышева, Е.П. Белоусова, А.С. Иванова // Вестник ИрГТУ. – 2007. – № 3 (31). – С.36–39.
10. **Иванова А.С.** Циркуляционные условия аномально холодной зимы 2005/06 гг. над Сибирью / И.В. Латышева, Е.П. Белоусова, А.С. Иванова, В.Л. Потемкин // Метеорология и гидрология. – 2007. – №9. – С.36–40.
11. **Иванова А.С.** Связь межгодовых вариаций Арктической и Антарктической осцилляций с характеристиками вихревой и волновой активности / В.И. Мордвинов, А.С. Иванова, Е.В. Девятова // Метеорология и гидрология. – 2008. – №9. – С.20–36.

